Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949, ч. 3, с. 929—1382.
Ильин Б. С. Новый бычок из Каспийского моря Gobius nonultimus sp. n. (Pisces, Gobiidae).— Докл. АН СССР, 1936, **4**, № 7, с. 325—327.
Ильин Б. С. Замечания и поправки к подотряду Gobioidei в книге Л. С. Берга «Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран».— Вопр. ихтиологии, 1956, вып. 7, с. 184—192.
Пинчук В. И. Систематика бычков родов Gobius Linné (отечественные виды), Neogobius Iljin и Mesogobius Bleeker. Сообщение второе.— Там же, 1977, **17**, вып. 4, с. 587—596.
Рагимов Д. Б. О систематике бычков рода Gobius Каспийского моря.— В кн.: Биологическая продуктивность Куринско-Каспийского рыболовного района. Баку, 1967, с. 252—277.
Borcea I. Révision systématique et distribution géographique des Gobiidés de la Mer Noire et particulièrement des eaux Roumaines.— Ann. scient. Univ. Jassy, 1934, 19, p. 1—231.
Miller P. J. A multidisciplinary approach to a new species of Gobius (Teleostei: Gobiidae) from Southern Cornwall.— J. Zool., 1974, N 174, p. 539—574.
Sanzo L. Distribuzione della papille cutanée (organi ciatiforme) e suo valore sistematico nei Gobi.— Mitt. Zool. Stat. Neapel, 1911, **20**, p. 249—328.

Каспийская биологическая станция
Института зоологии АН АзССР,
Черноморский заповедник АН УССР

Получено 19.07.82

УДК 591.471.373:636.39+577.31

В. А. Клыкова

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРЕСТРОЙКИ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕННОЙ НАГРУЗКИ

В последнее время исследованиями многих авторов (Астанин, 1951; Данилова, Свиридов, 1953; Мельник, 1972; Манзий, Мороз, 1978; Антонов, 1979) была доказана значительная пластичность костной ткани, но для анализа ее изменений простых визуальных методов недостаточно, т. к. костная ткань изменяется по многим параметрам, и эти изменения регистрируются с помощью биомеханических методов.

Настоящее сообщение посвящено биомеханическому анализу некоторых результатов экспериментального исследования приспособительных изменений трубчатых костей, выполненного на примере костей предплечья домашней козы. Группу животных в возрасте трех месяцев экспериментально лишали опоры на одну из передних конечностей, увеличивая нагрузку на вторую конечность. В это время проводилась запись опорных реакций при движении шагом методом опорной динамографии (Табин, Шкляр, 1965). По истечении срока эксперимента лучевые кости обеих конечностей подвергались рентгенографии, морфометрии, изучению изменений формы кости, методом поперечного распила диафиза. Из средней трети диафиза изготовляли стандартные образцы и подвергали механическим испытаниям. Результаты этих исследований приведены в таблице и на рис. 2. Группа контрольных животных содержалась в таких же условиях, но оставалась интактной.

Биомеханические условия функционирования правой и левой конечностей подопытных животных были экспериментально изменены в диаметрально противоположных направлениях от нормы: одна конечность освободилась от опоры, а контрлатеральная получила двойную нагрузку (рис. 1, кривая 2). Локомоция животного приобрела прыжковую форму, нормой для него при движении стали динамические нагрузки на левую переднюю конечность. Кости предплечья освобожденной от опоры конечности, будучи почти полностью лишены воздействия массы тела, подвергались воздействию мышечных моментов. Результаты всех исследований

сопоставлялись у подопытных и контрольных животных (рис. 1). Скорость изменения формы лучевой кости под влиянием изменения условий функционирования неодинакова: уменьшение функциональной нагрузки отрицательно сказывается на периметре кости и толщине стенки диафиза (таблица, рис. 2). Площадь компактного вещества (индекс компакты)

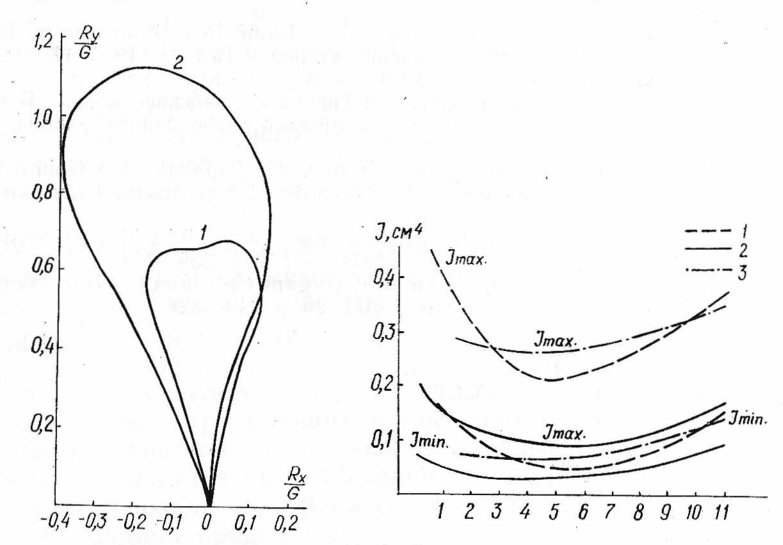


Рис. 1. Годограф опорных реакций в сагиттальной плоскости домашней козы:

1 — при четвероногой локомоции; *2* — при выключении опоры на правую переднюю конечность. По оси абсцисс отложены значения горизонтальной составляющей R_x, а по оси ординат — значения вертикальной составляющей R_y, отнесенных к единице массы животного *G*.

Рис. 2. Изменение главных моментов инерции поперечных сечений вдоль лучевой кости козы домашней:

1 — опорная конечность; *2* — освобожденная от опоры; *3* — конечность контрольного животного.

в поперечных сечениях диафиза снижается на 35—40 %. Масса лучевой кости уменьшается до 30 % по сравнению с массой кости интактного животного.

Типичным для лучевой кости копытных является то, что поперечное сечение диафиза в целом имеет форму дорсоволярно сжатого кольца (эллипса). Такая форма и ориентация сечения связаны с различным соотношением изгибающих моментов, действующих на лучевую кость в сагиттальной и фронтальной плоскостях. Распределение костного вещества в поперечных сечениях диафиза мы оцениваем с помощью осевых

Некоторые морфо-механические характеристики лучевой кости домашней козы

Масса кости, кг	Длина, мм	Предел прочности, кГс/мм²	Поперечное сечение в середине диафиза: Площадь, мм²	Поперечное сечение в середине диафиза: Полярный момент инерции, мм⁴	Поперечное сечение в середине диафиза: I_{min}/I_{max}	Масса животного, кг	Максимальное значение опорной реакции, кГс
Опорная конечность							
71,3±8,5	140,7±1,2	14,2±0,6	113,3±8,7	3616±698	0,21±0,01	31,7±0,9	41,4±4,43
Освобожденная от опоры							
48,3±5,8	134,3±0,9	14,5±0,2	67,0±4,9	1693±312	0,29±0,02	31,7±0,9	—
Контроль							

моментов инерции этих сечений. Кроме того для анализа формы кости используется полярный момент инерции и отношение I min / I max (Боголюбов, 1940).

Освобождение лучевой кости от воздействия массы тела уменьшает как абсолютные значения осевых моментов инерции, так и относительное изменение этого момента вдоль кости: значения максимального момента инерции сечений снижается при незначительном уменьшении минимального осевого момента инерции (рис. 2). В результате отношение *I* min / *I* max возрастает, а эллипсовидность сечения диафиза уменьшается. Наблюдается тенденция диафиза кости обретать цилиндрическую форму. Происходит это за счет уменьшения фронтального диаметра в сечениях и сохранения размера сагиттального диаметра. Величина полярного момента инерции уменьшается примерно в два раза, следовательно, прочность кости на изгиб ослаблена в средине диафиза во столько же раз (Боголюбов, 1940). В зоне перехода эпифиза в диафиз рентгенологически наблюдается заметное снижение количества губчатого вещества.

Двукратная перегрузка заметно не отражается на таких параметрах лучевой кости как масса, площадь компакты, полярный момент инерции, отношение *I* min / *I* max (таблица), но при этом увеличился фронтальный изгиб кости на границе проксимальной и средней трети диафиза, а также общая сагиттальная ее кривизна. Кривая значений максимального осевого момента инерции по длине потеряла обычную пологость. Перепады между значениями моментов инерции на концах диафиза и в его средине резко возросли. Диафиз в этом случае как бы образован двумя частями, конусообразно расширяющимися к эпифизам от границы верхней и средней трети длины кости (рис. 2).

Наиболее консервативным морфологическим показателем при изменении функциональной нагрузки на кость является ее длина (таблица). За длину лучевой кости принимали расстояние от наиболее высоко расположенной точки головки кости до вершины шиловидного отростка (Алексеев, 1966). Вероятно, этот показатель связан не только с величиной продольной нагрузки, но и более жестко определен генетически.

В показателях предела прочности костной ткани на сжатие при изменении механических условий функционирования лучевой кости домашней козы существенных различий мы не обнаружили. Эта характеристика компактного вещества изменяется в очень узком интервале. Объяснить эти вариации изменением физических нагрузок по материалам данного исследования невозможно.

Алексеев В. П. Остеометрия.— М. : Наука, 1966.— 251 с.

Антонов С. Г. Влияние физических нагрузок на состояние метаэпифизарного хряща бедренных костей и на рост этих костей в длину.— Арх. анатомии, гистологии, эмбриологии, 1979, **76**, № 5, с. 75—81.

Астанин Л. П. О строении костей кисти гимнастов.— В кн.: Изв. Естеств.-науч. ин-та им. Лесгафта, 1951, вып. 35, с. 83—114.

Боголюбов Н. Н. Энергетический метод функционального исследования в биологии.— В кн.: Проблемы происхождения, эволюции и породообразования домашних животных. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1940, с. 1, с. 411—438.

Данилова Е. И., Свиридов А. И. Рост и окостенение скелета конечностей в условиях экспериментально измененной нагрузки.— Зоол. журн., 1953, **32**, вып. 4, с. 780—786.

Манзий С. Ф., Мороз В. Ф. Морфо-функциональный анализ грудных конечностей млекопитающих.— Киев : Наук. думка, 1978.— 133 с.

Мельник К. П. Прочность скелета у животных с измененным характером опоры.— Вестн. зоологии, 1972, № 6, с. 69—74.

Табин В. И., Шкляр Н. Н. Исследование опорной реакции животных при движении.— В кн.: Адаптивные особенности кровеносной и других систем органов у млекопитающих и птиц. Сер. Проблемы зоологии. Киев : Наук. думка, 1965, с. 122—127.

Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена
АН УССР

Получено 07.12.82